

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pencemaran logam berat di perairan telah menjadi permasalahan global utama yang semakin meningkat karena adanya industrialisasi, perubahan iklim, dan urbanisasi. Pencemaran logam berat ini berpotensi membahayakan ekosistem perairan dan kesehatan manusia. Logam berat dapat menyebabkan kerusakan pada berbagai organ tubuh bahkan pada tingkat paparan yang rendah (Hama Aziz *et al.*, 2023). Salah satu logam berat yang paling sering mencemari lingkungan, yaitu timbal (Pb). Pb adalah logam yang tidak dapat terurai secara alami dan ditemukan dalam jumlah yang relatif rendah. Pb bersifat toksik bagi tubuh manusia jika terpapar dalam jumlah yang melebihi batas optimal (Mitra *et al.*, 2022). Berdasarkan pada PP No. 22 Tahun 2021, ambang batas baku mutu kandungan logam Pb di perairan yang diizinkan, yaitu sebesar 0,05 mg/L (Wardana dan Kuntjoro, 2023).

Berbagai metode seperti pengendapan kimia, pertukaran ion, dan pemisahan membran telah digunakan untuk mengurangi kadar logam Pb, namun kurang efektif dan memerlukan biaya yang mahal. Oleh karena itu, diperlukan metode yang efisien, mudah, dan murah, yaitu metode adsorpsi (Zein, Putria, *et al.*, 2024). Hidroksiapatit (HAp) telah menjadi bagian komponen penting dari metode adsorpsi untuk mengolah polutan berbahaya di air. HAp efektif dalam menyerap ion logam, seperti Pb^{2+} , Cu^{2+} , Cd^{2+} , Ni^{2+} , dll (El Hammari *et al.*, 2023). HAp juga telah digunakan secara luas dan berhasil digunakan untuk menghilangkan berbagai polutan di air dikarenakan HAp memiliki sifat permukaannya yang sangat baik (Nayak dan Bhushan, 2021). HAp memiliki beberapa kelebihan, di antaranya stabilitas yang tinggi, kemampuan pertukaran ion, ramah lingkungan, dan murah serta memiliki luas permukaan spesifik yang besar sehingga telah banyak diaplikasikan untuk menghilangkan berbagai kontaminan, termasuk logam berat di air (Jaffar *et al.*, 2024). HAp memiliki komponen penyusun utama berupa kalsium dan fosfat (Wadu *et al.*, 2018). Bahan baku kalsium yang digunakan untuk mensintesis HAp dapat diperoleh dari sumber sintetis maupun sumber alami. Adapun beberapa sumber kalsium alami, di antaranya, tulang ikan, kulit kerang, dan cangkang telur (Goh *et al.*, 2021).

Peningkatan jumlah produksi telur puyuh dari tahun ke tahun akan berpengaruh pada bertambahnya limbah dari cangkang telur puyuh (Supriyanto *et al.*, 2019). Peningkatan jumlah produksi telur puyuh terjadi karena pentingnya sumber protein di kalangan masyarakat (Malau, 2021). Limbah cangkang telur puyuh yang langsung dibuang ke lingkungan akan dapat merusak estetika lingkungan, menambah volume limbah, dan berpotensi menyebabkan polusi karena aktivitas mikroba di lingkungan (Yonata *et al.*, 2017). Salah satu cara alternatif untuk memanfaatkan limbah cangkang telur puyuh, yaitu dengan menggunakan kalsium yang terkandung di dalamnya dalam bentuk Kalsium karbonat (CaCO_3) atau disebut juga dengan kalsit yang mencapai 95-97% (Razak *et al.*, 2021). CaCO_3 yang didapatkan dari cangkang telur puyuh dapat digunakan untuk sintesis HAp (Vinayagam *et al.*, 2023).

Ada beberapa metode sintesis HAp, di antaranya reaksi fase padat, sintesis mekanokimia, pembakaran dalam larutan, pirolisis, sol-gel, mikroemulsi, hidrotermal, dan *microwave-assisted* (Castro *et al.*, 2022). Pada penelitian ini digunakan metode *microwave-assisted* untuk sintesis HAp karena dapat mempercepat proses reaksi dengan waktu yang lebih singkat dibandingkan dengan metode lainnya. Penggunaan energi *microwave* pada perlakuan termal juga dapat menghasilkan HAp yang halus dengan kemurnian tinggi serta homogen (Perwiranegara *et al.*, 2021). Selain itu, kelebihan metode ini di antaranya lebih mudah, ramah terhadap lingkungan, serta dapat menghasilkan HAp dengan penyebaran ukuran partikel yang konsisten (Goh *et al.*, 2021).

Penelitian sebelumnya yang penulis lakukan pada tahun 2025 telah berhasil mensintesis HAp dari limbah cangkang telur puyuh menggunakan metode *microwave-assisted*, yang terbukti menghasilkan HAp dengan kemampuan adsorpsi terhadap ion logam Pb(II). Namun demikian, hasil tersebut menunjukkan potensi yang masih perlu untuk dioptimalkan, hal ini dikarenakan adanya 2 permasalahan, yaitu mudahnya terbentuk aglomerasi dan pH_{pzc} pada HAp. HAp memiliki kecenderungan untuk mengalami aglomerasi akibat adanya gaya van der Waals yang berlebihan (energi permukaan tinggi) dalam fase akuatik, yang mengakibatkan penurunan luas permukaan dan efisiensi penghilangan (Ahmed *et al.*, 2022). Selain itu, pH_{pzc} HAp dapat dikatakan tidak sesuai dengan teori

dikarenakan pada penelitian sebelumnya didapatkan pH_{pzc} HAp = 7,5 dan pH optimum penyerapan Pb(II) oleh HAp, yaitu pH 5. Hal ini tetap dilakukan karena mempertimbangkan nilai pH yang meningkat ($pH \geq 8$) dapat memicu tingginya konsentrasi ion OH^- dalam larutan, yang mana cenderung berkoordinasi dengan ion Pb(II) untuk membentuk endapan putih $Pb(OH)_2$ (Mahmud *et al.*, 2022). Penyerapan kation terutama Pb(II) seharusnya dilakukan di pH yang lebih tinggi dari pada pH_{pzc} , karena pada pH yang lebih tinggi dari pH_{pzc} , permukaan akan bermuatan negatif dan mendukung proses adsorpsi kation logam (Sen, 2023). Oleh karena itu, modifikasi HAp perlu dilakukan untuk mengatasi 2 permasalahan tersebut sehingga kapasitas adsorpsi ion logam Pb(II) oleh HAp dapat meningkat. Modifikasi HAp telah banyak dilakukan menggunakan berbagai matriks pendukung atau modifier, seperti kitosan, *biochar*, *montmorillonit*, *magnetit*, dan *graphene oxide*, untuk meningkatkan kapasitas adsorpsi (Vaishali *et al.*, 2026).

Biochar (BC) merupakan material padat yang diperoleh melalui proses konversi termokimia biomassa pada kondisi oksigen terbatas. Berbagai jenis limbah biomassa dari beragam sumber, termasuk serbuk kayu, jerami, kulit buah, tanaman air, rumput, kotoran ternak, limbah sayuran, kertas, lumpur, serta residu biogas, telah dimanfaatkan sebagai bahan baku dalam produksi BC. Ketersediaan biomassa yang melimpah, biaya yang relatif rendah, sifatnya yang dapat diperbarui, serta dampak pencemaran yang minimal menjadikan biomassa sangat potensial untuk dikembangkan sebagai bahan adsorben logam berat (Wang *et al.*, 2025). Sekam padi (*Rice Husk*, RH) dipilih sebagai bahan baku BC karena ketersediaannya yang melimpah sebagai limbah pertanian. Konsumsi beras di Indonesia yang sangat tinggi sehingga dapat menghasilkan limbah RH dalam jumlah besar. Selain itu, RH merupakan biomassa yang kaya akan selulosa dan hemiselulosa sehingga berpotensi tinggi untuk dikonversi menjadi *Rice Husk Biochar* (RHB) dengan struktur berpori dan sifat permukaan yang mendukung aplikasinya sebagai adsorben (Iskandar *et al.*, 2019).

Pemanfaatan BC sebagai matriks pendukung bagi HAp mulai banyak dikembangkan sebagai pendekatan yang efektif untuk mengurangi kecenderungan aglomerasi HAp dan juga memberikan peluang untuk meningkatkan sifat fungsional BC sehingga dapat berkontribusi pada peningkatan kemampuan

adsorpsi terhadap logam berat (Zhang *et al.*, 2025). BC memiliki luas permukaan yang sangat besar dengan struktur pori-pori yang tinggi dan kelompok fungsional yang melimpah sehingga dapat secara efektif mendistribusikan partikel HAp, mengurangi agregasi, serta meningkatkan kapasitas adsorpsi (Feng *et al.*, 2023). Sebagai contoh, Li dkk. melaporkan sintesis nHAP-BC dengan BC yang berasal dari cangkang kacang tanah menghasilkan peningkatan luas permukaan spesifik secara signifikan dibandingkan nHAP murni, serta peningkatan kapasitas adsorpsi Pb(II) yang jauh lebih tinggi dibandingkan BC tanpa modifikasi (Li *et al.*, 2022). Selain itu, pemanfaatan BC sebagai matriks pendukung bagi HAp juga dapat menurunkan pH_{pzc} , seperti Wu dkk. melaporkan bahwa HAp-BC sekam padi dalam penelitian mereka memiliki nilai pH_{pzc} sebesar 3,92 dan nilai yang relatif rendah tersebut menunjukkan dominasi muatan negatif pada permukaan material, yang berkontribusi pada peningkatan kemampuan immobilisasi Cd(II) dan Pb(II) (Wu *et al.*, 2022). Wang dkk. Juga melaporkan bahwa BC jerami padi dan HAp-BC jerami padi dalam penelitian mereka memiliki nilai pH_{pzc} masing-masing sebesar 2,7 dan 2,5. Penurunan nilai pH_{pzc} pada HAp-BC dibandingkan BC murni menunjukkan bahwa pengompositan dapat berkontribusi terhadap peningkatan muatan negatif permukaan material, sehingga mendukung adsorpsi kation logam berat, seperti Pb(II), Cu(II), dan Zn(II) dalam larutan berair (Wang *et al.*, 2018). Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini dilakukan untuk memodifikasi Hidroksiapatit dan *Rice Husk Biochar* (HAp-RHB) dan menganalisis pengaruh modifikasi HAp dengan RHB terhadap kemampuan adsorpsi Pb(II). Selain itu, dilakukan pula analisis pH_{pzc} , kinetika, dan isoterm adsorpsi untuk dibandingkan dengan HAp tanpa modifikasi yang dianalisis menggunakan berbagai instrumen, di antaranya XRF, XRD, FTIR, SEM-EDX, dan BET.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan, rumusan masalah dalam penelitian ini, yaitu:

1. Apakah HAp dari limbah cangkang telur puyuh yang disintesis dengan menggunakan metode *microwave-assisted* dapat dimodifikasi dengan RHB?

2. Bagaimana karakteristik komposisi kimia, struktur kristal, gugus fungsi, morfologi permukaan, luas permukaan spesifik HAp dan HAp-RHB berdasarkan analisis XRF, XRD, FTIR, SEM-EDX, BET?
3. Bagaimana kemampuan adsorpsi HAp dan HAp-RHB terhadap ion logam Pb(II) berdasarkan studi kinetika dan isoterm adsorpsi?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini, yaitu:

1. Mensintesis HAp dari limbah cangkang telur puyuh dengan menggunakan metode *microwave-assisted* yang dimodifikasi dengan RHB.
2. Menganalisis karakteristik komposisi kimia, struktur kristal, gugus fungsi, morfologi permukaan, luas permukaan spesifik HAp dan HAp-RHB berdasarkan analisis XRF, XRD, FTIR, SEM-EDX, BET?
3. Menganalisis kemampuan adsorpsi HAp dan HAp-RHB terhadap ion logam Pb(II) berdasarkan studi kinetika dan isoterm adsorpsi?

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi tentang kemampuan HAp dari cangkang telur puyuh yang disintesis dengan metode *microwave-assisted* serta dimodifikasi dengan RHB untuk penyerapan logam Pb(II) sehingga dapat mengatasi pencemaran air dengan cara memanfaatkan limbah cangkang telur puyuh dan limbah sekam padi.

